



Das European Train Control System

Projektierung – Migration - Testen

Christoph Lackhove, Lars Ebrecht



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

6.200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 29 Forschungsinstituten und Einrichtungen in

■ 13 Standorten.

Büros in Brüssel,
Paris und Washington.

Forschungsschwerpunkte

- Raumfahrt
- Luftfahrt
- Energie
- Verkehr



Institut für Verkehrssystemtechnik

- Sitz: Braunschweig, Berlin
- Seit: 2001
- Leitung: Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
- Mitarbeiter: Momentan etwa 100 Mitarbeiter aus verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen

➤ Aufgabenspektrum

- Grundlagenforschung
- Erstellen von Konzepten und Strategien
- Prototypische Entwicklungen
- Betreiben von Großforschungsanlagen

➤ Forschungsgebiete

- Automotive
- Verkehrsmanagement
- Bahnsysteme



DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Forschung im Bereich Bahnsysteme

ETCS

- Testkonzepte
- Konformitäts- und Interoperabilitätstests z. B. Subset - 076
- Betriebliche und funktionale Tests



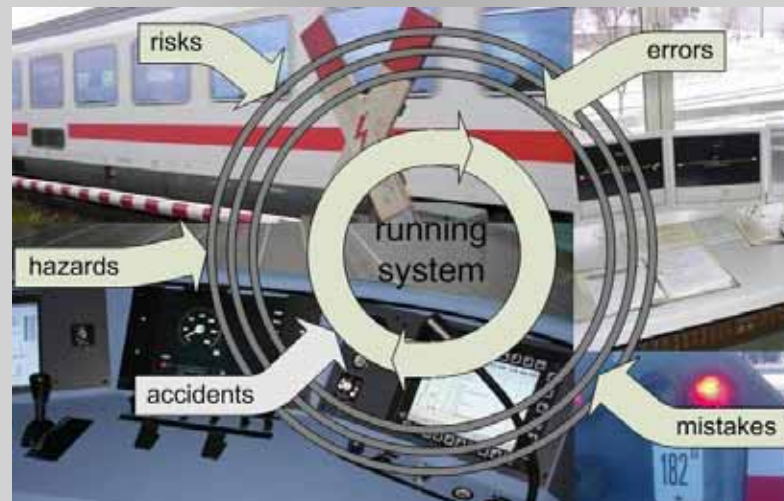
DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Forschung im Bereich Bahnsysteme

ETCS

Safety

- Sicherheitsbetrachtungen
- Risiko- und Gefährdungsanalysen
- Menschliche Zuverlässigkeit
- Innovative Konzepte und Sicherheit am Bahnübergang



DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Forschung im Bereich Bahnsysteme

ETCS

Safety

Rail Human Factors

- Usability Untersuchungen
- Ableitung von Gestaltungsempfehlungen
- Untersuchung der Belastung und Beanspruchung



DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Forschung im Bereich Bahnsysteme

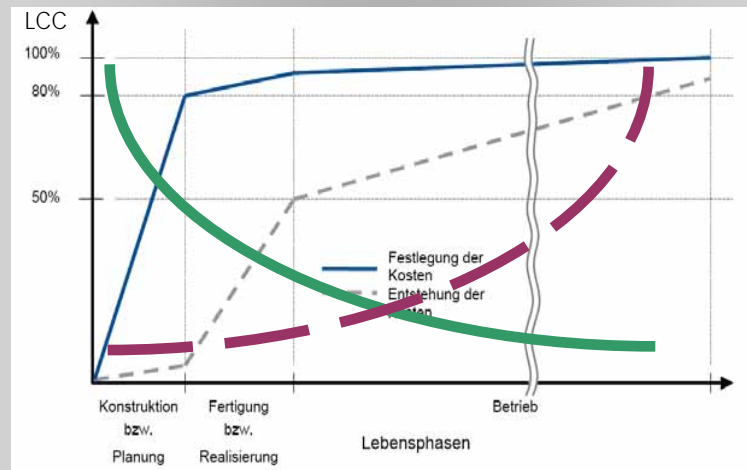
ETCS

Safety

**Rail Human
Factors**

**Life Cycle
Management**

- Life Cycle Cost Modelle
- Migrationsstrategien für technische Systeme
- Investitions- und Instandhaltungsbewertung
- Methoden und Konzepte für eine zustandsorientierte Instandhaltung



DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Forschung im Bereich Bahnsysteme

ETCS

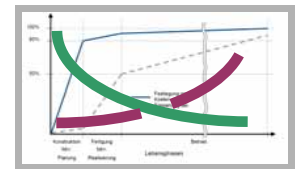
Safety

**Rail Human
Factors**

**Life Cycle
Management**

Bahnbetrieb

- Betriebswissenschaftliche Untersuchungen
- Test und Validation von Ortungssensoren und -systemen
- Aufnahme und Validation von Streckenprofilen und -karten



DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Bereich Bahnsysteme - Referenzen

ETCS

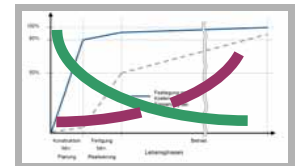
Safety

Rail Human Factors

Life Cycle Management

Bahnbetrieb

- DemoOrt
- NeuPro Plus
- CESAR
- Sicherheitsbetrachtungen für Schienenfahrzeuge
- Usability Studien für DMI
- GAUSS
- Betrieblicher Testfallkatalog für ETCS
- ETCS Subset 076
- GRAIL
- INESS
- SamNet



DLR - Institut für Verkehrssystemtechnik

Bereich Bahnsysteme - Forschungsinfrastruktur

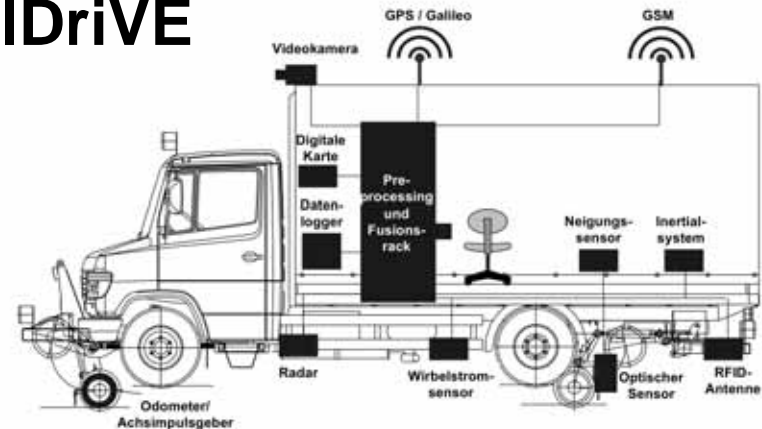
RailSiTe



RailSET



RailDrIVE





Gliederung

1. **Grundlagen**
2. Projektierung
3. Migration
4. Sicherung der Interoperabilität

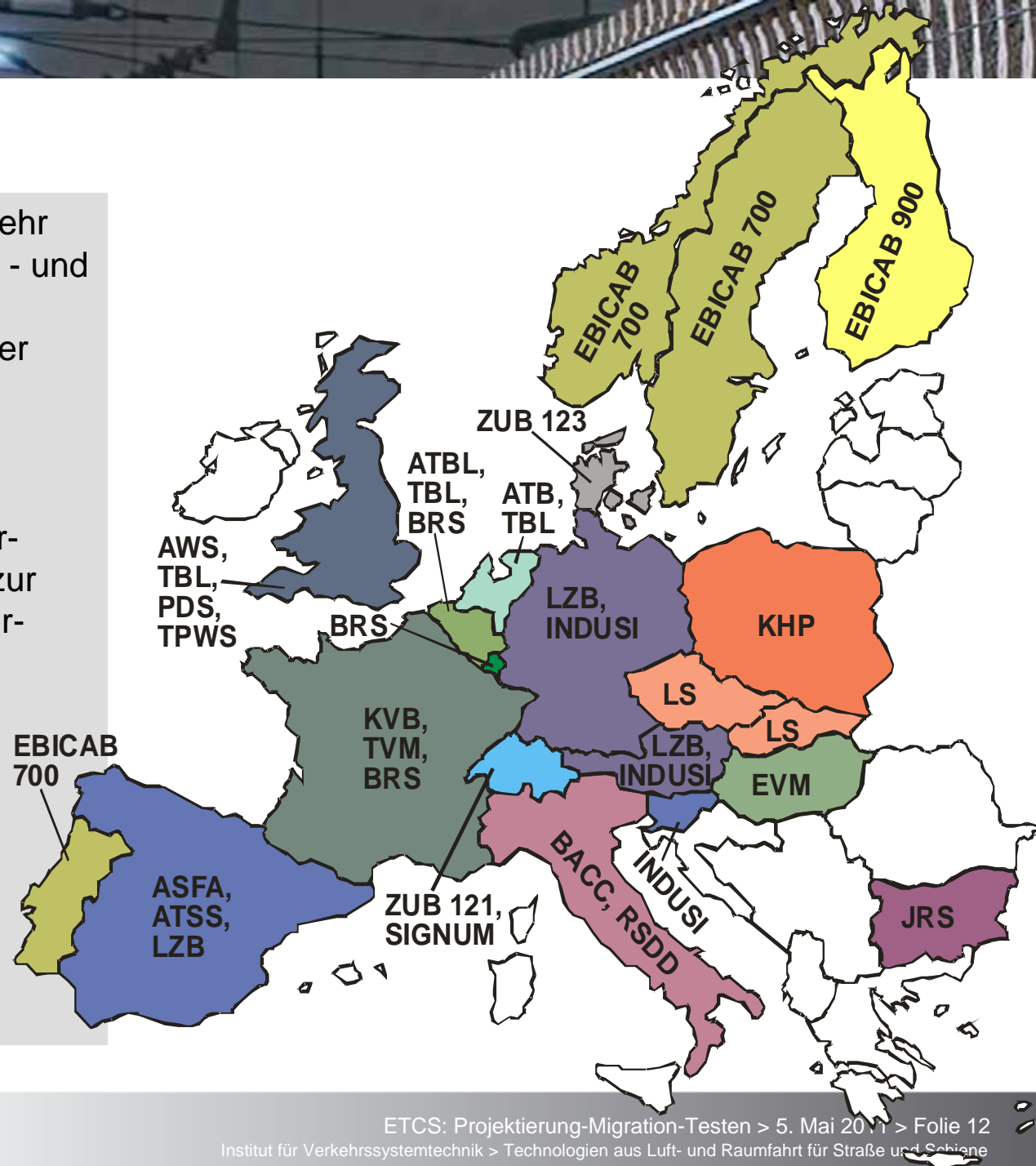


Motivation

Zur Zeit befinden sich mehr als 20 verschiedene Leit- und Sicherungssysteme im Einsatz, die untereinander nicht kompatibel sind.

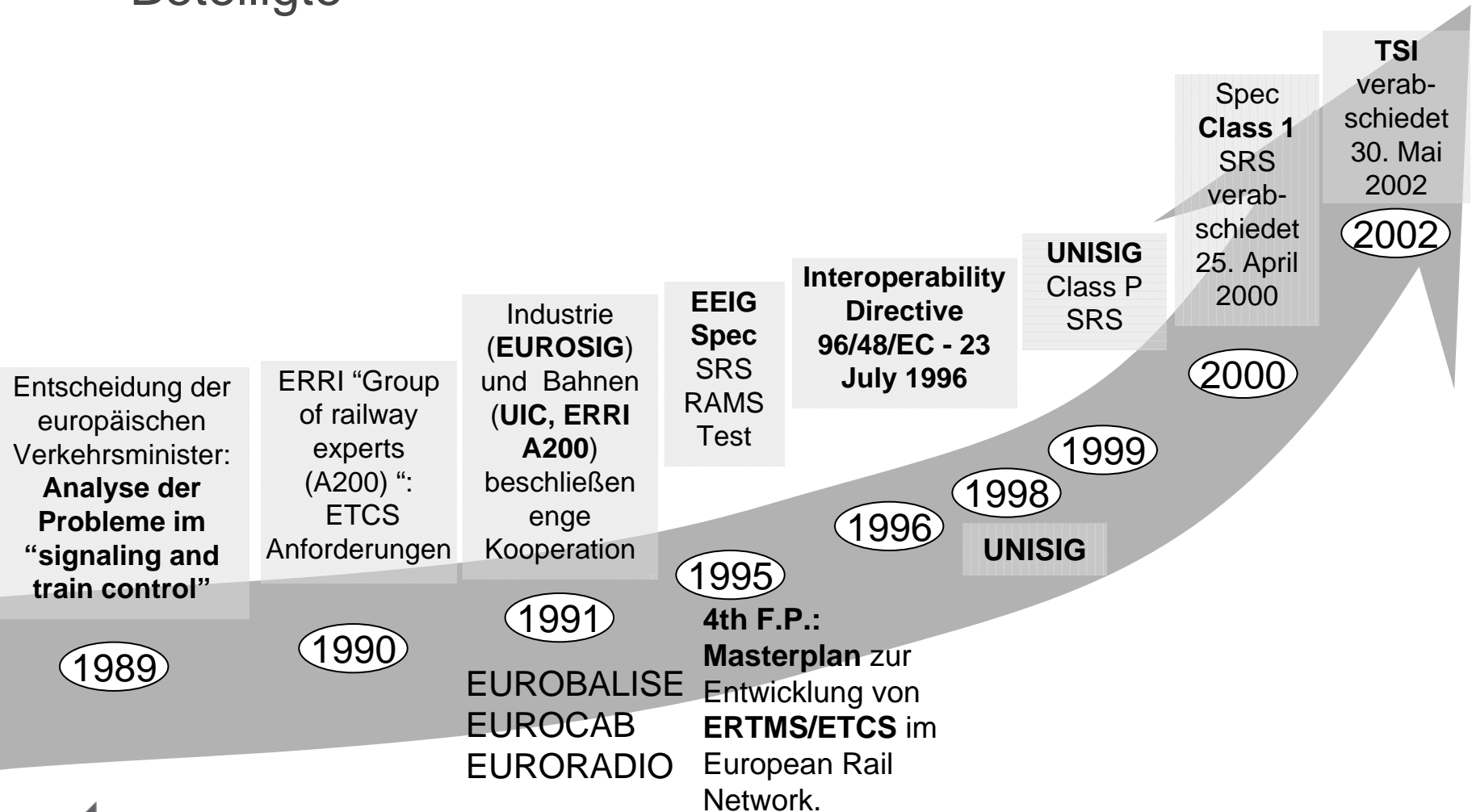
Daneben werden 5 unterschiedliche Stromarten zur Versorgung der Triebfahrzeuge genutzt.

Über 20 verschiedene Betriebsordnungen existieren und müssen befolgt werden.

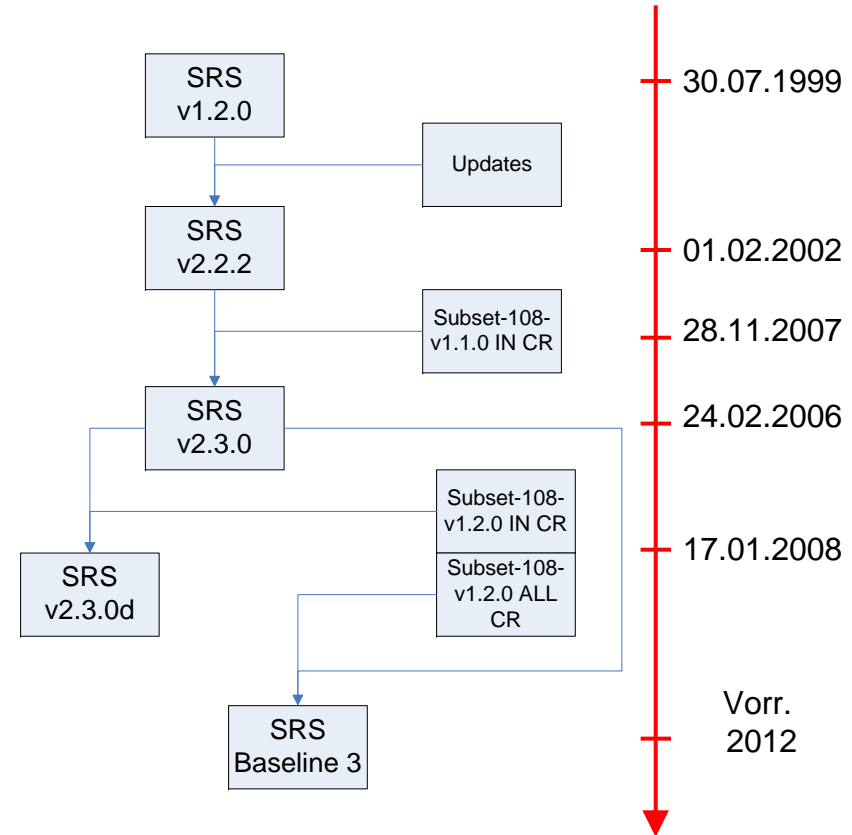


ETCS Historie

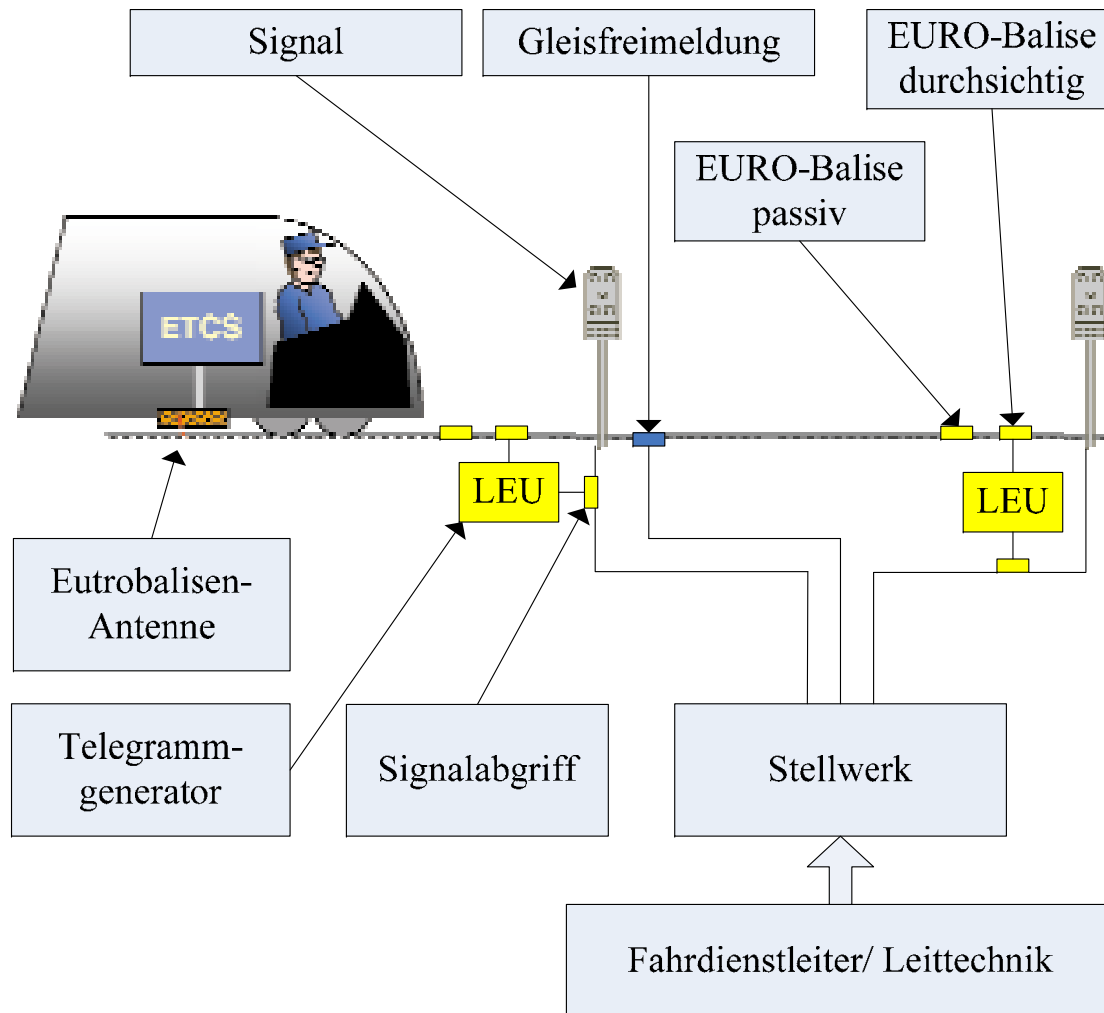
Beteiligte



- erste Release Version v1.2.0
- Final Edition v2.2.2
- Release Version v2.3.0 offiziell erschienen
 - SRS v2.3.0d inoffiziell aus v2.3.0 entstanden
 - Mit weiteren CR entstand v2.3.2



ETCS Level 1



LEU: Lineside Electronic Unit

Hardwareelemente im ETCS Level 1

Passive (fixe) Balise

- liegt autark im Gleis
- Stromzufuhr durch den Zug
- mit Telegrammen programmiert
- verfügbar in zwei Größen:



Balise type	Maximum design line speed	
	300 km/h	500 km/h
Standard Size	Long (1023 bits) and Short (341 bits)	Long (1023 bits) and Short (341 bits)
Reduced Size	Long (1023 bits) and Short (341 bits)	Short (341 bits)

Quelle: SUBSET-036

Hardwareelemente im ETCS Level 1

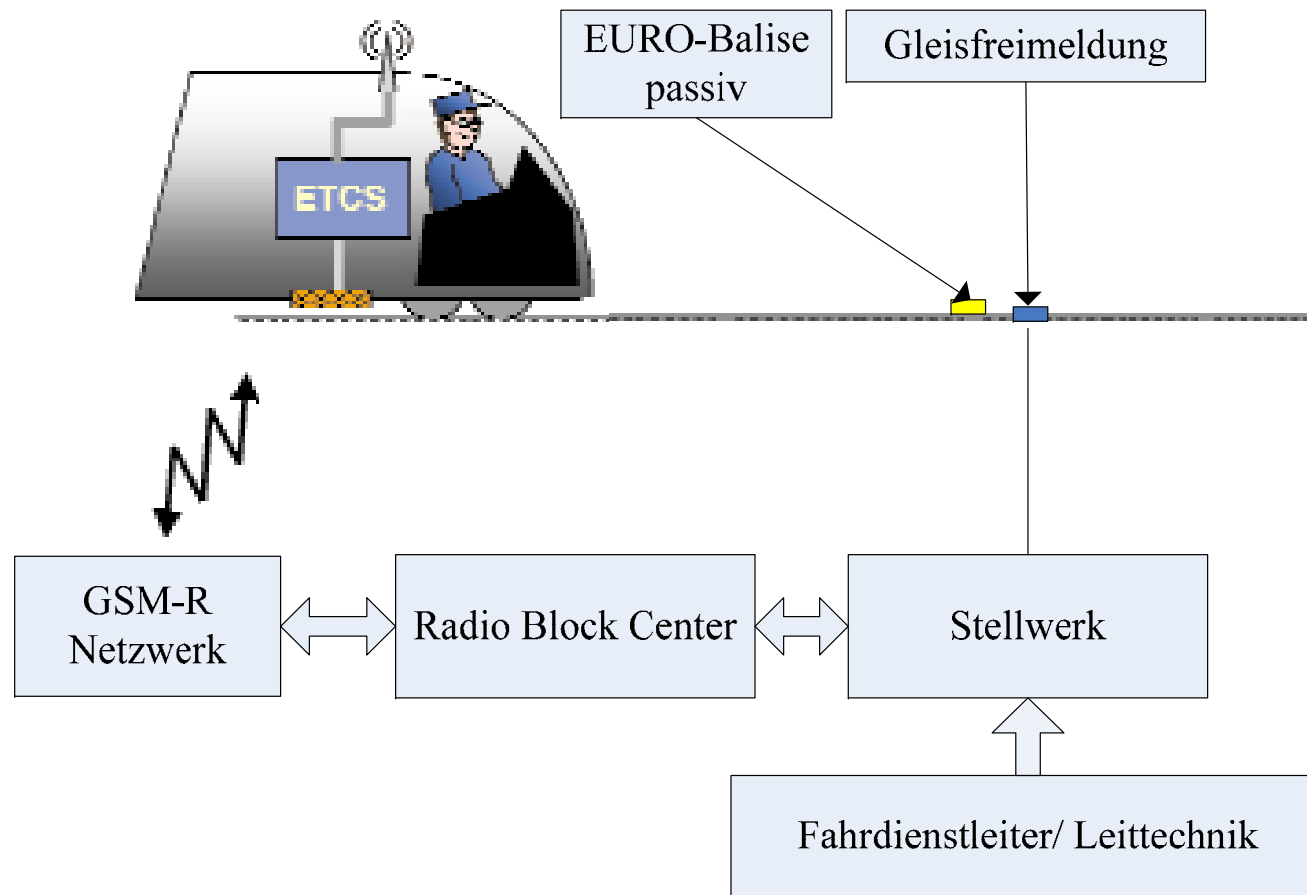
Transparente Balise und LEU

- Transparente Balisen dienen als Transponder zwischen Zug und LEU
- Telegramme erhalten Sie von der LEU, die den Signalbegriff ermittelt und das entsprechende Telegramm generiert
- Den Signalbegriff erhalten Sie vom Stellwerk oder aus den Signallampenströmen

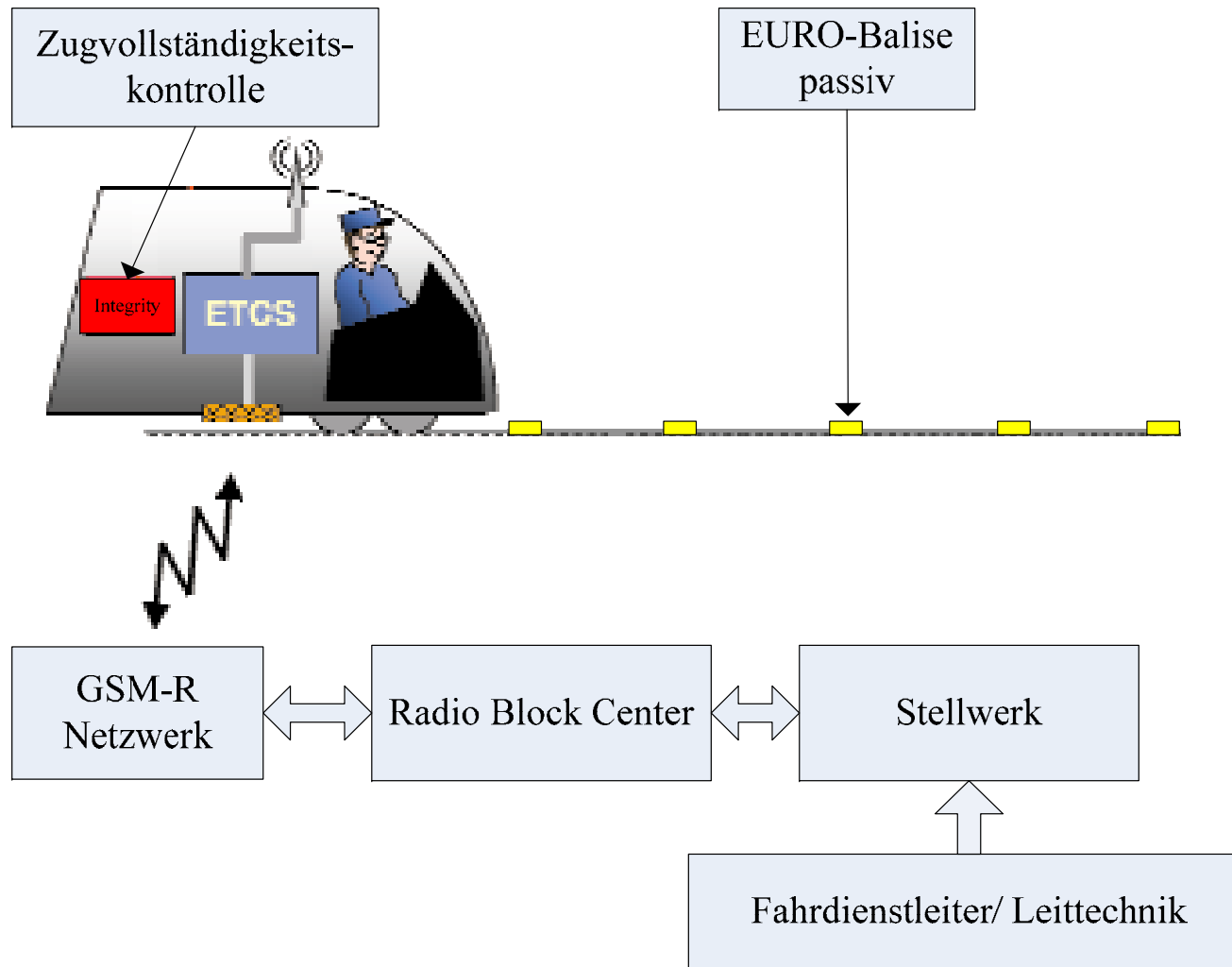


LEU: Lineside Electronic Unit

ETCS Level 2



ETCS Level 3



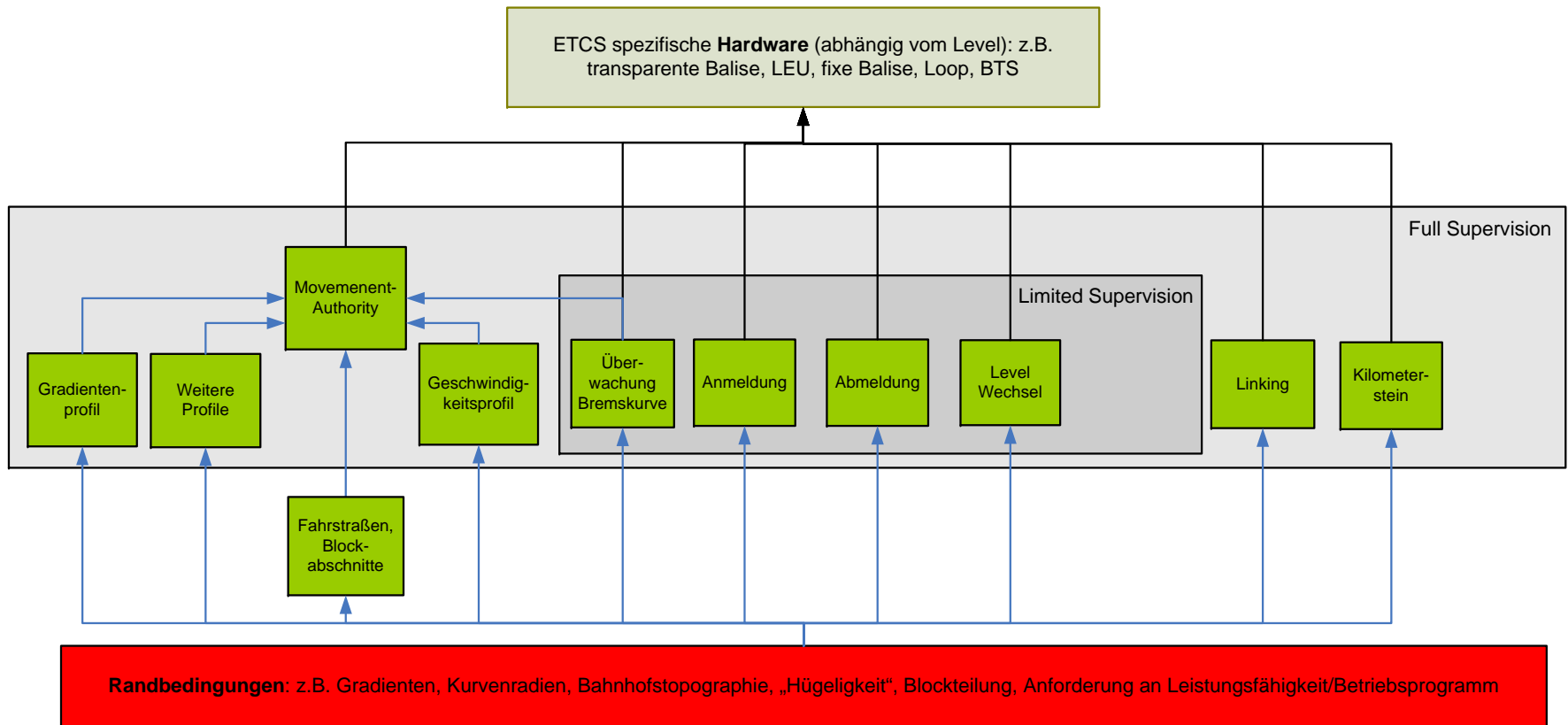


Gliederung

1. Grundlagen
- 2. Projektierung**
3. Migration
4. Sicherung der Interoperabilität

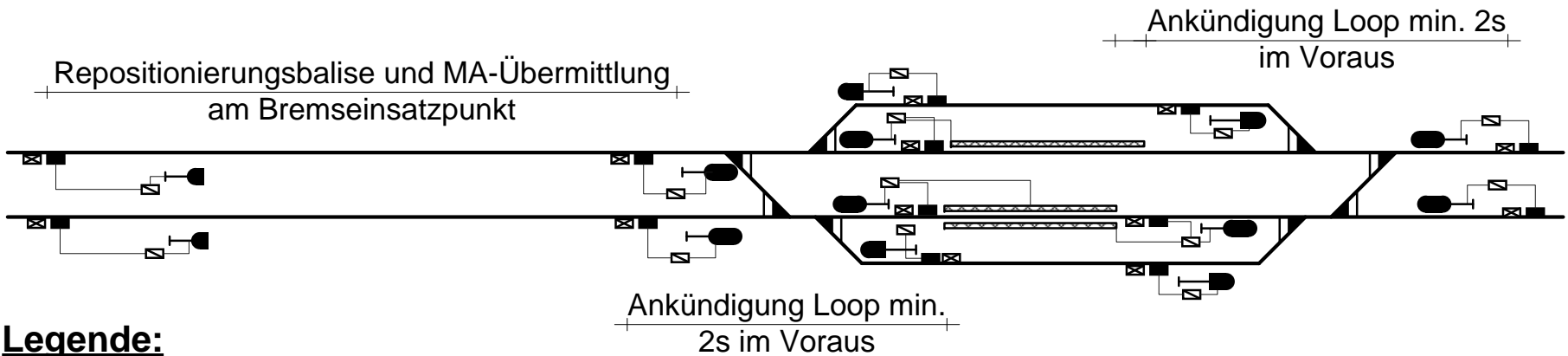


Einflüsse auf ETCS Projektierung



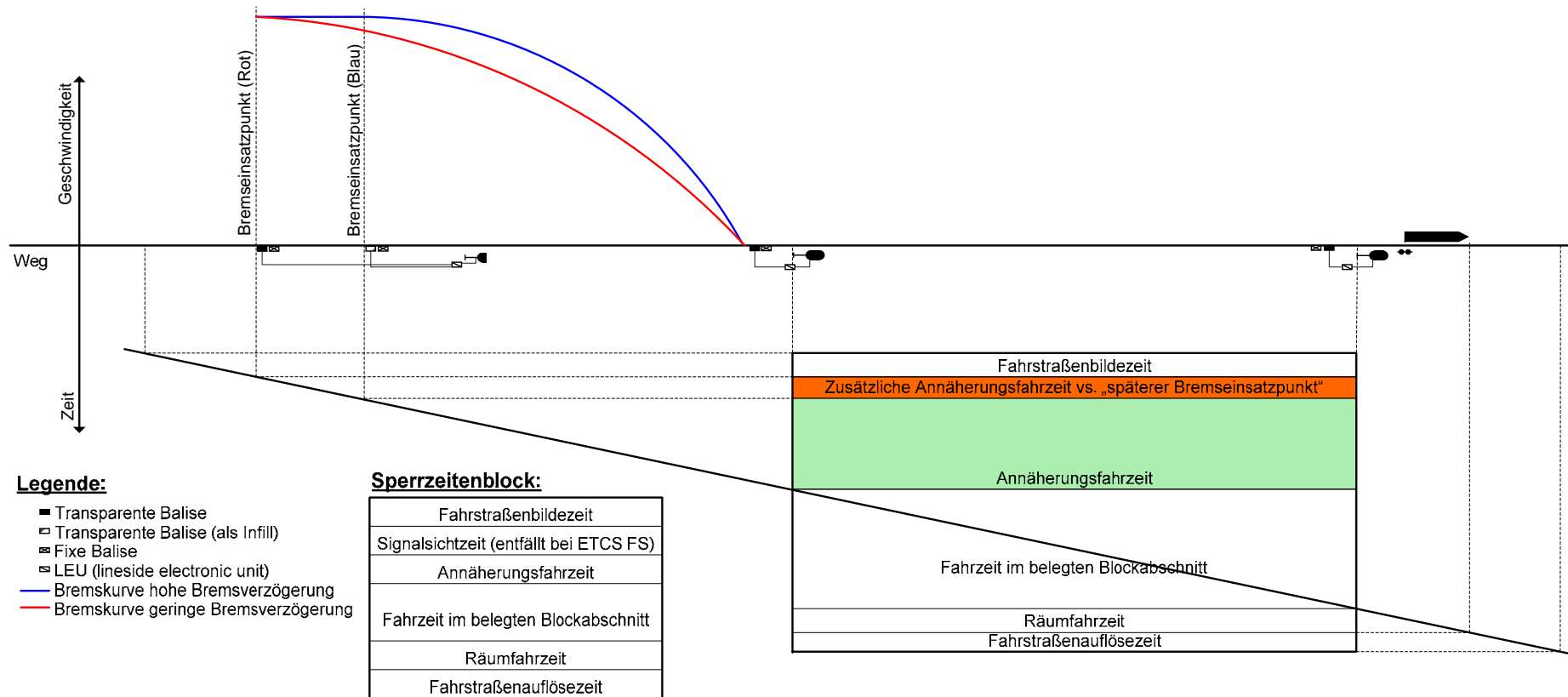
Projektierung ETCS Level 1 FS

Streckenbeispiel „Regelfall“

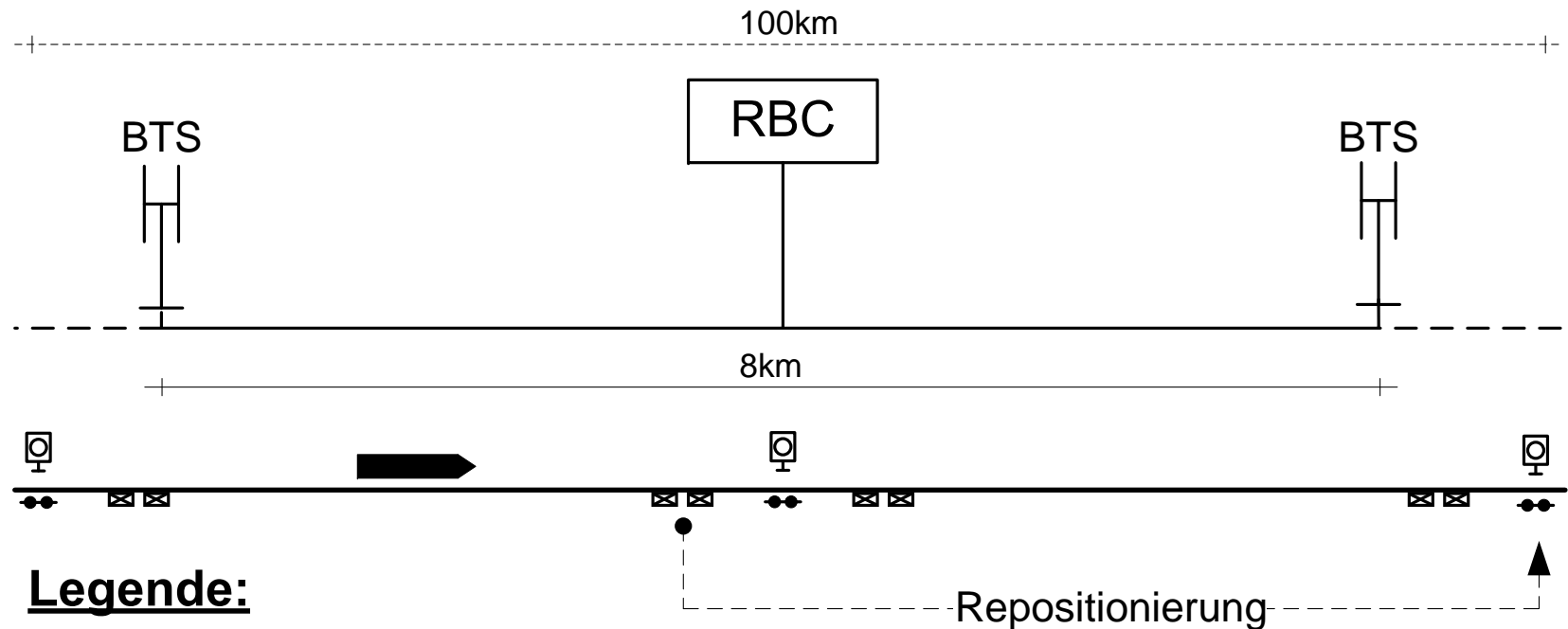


Projektierung Vorsignalbalise in ETCS Level 1 FS

Bremskurven ausschlaggebend



Projektierung ETCS Level 2 auf freier Strecke

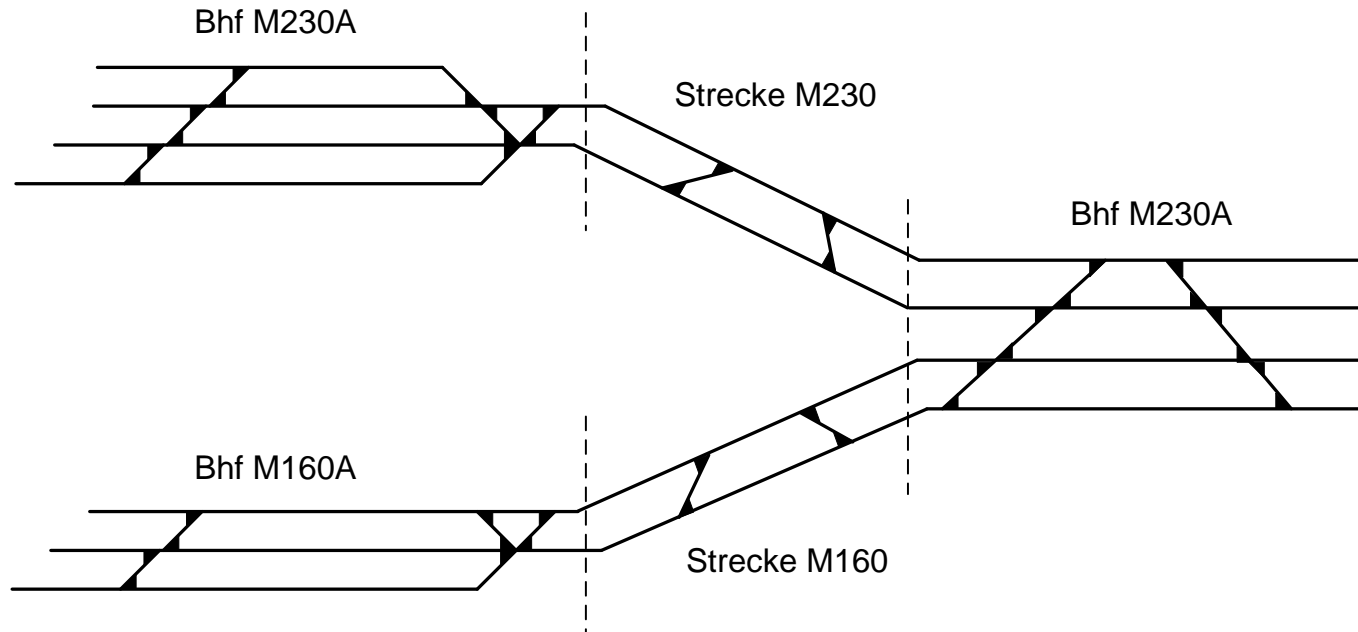


Legende:

- Blockwechsel
- ⊠ Fixe Balise
- Achszähler

BTS: Base Transceiver Station, RBC: Radio Block Center

Abschätzung der benötigten Komponenten



Streckenkategorien

M230: 100km	Level 2 / Level 1 LS
M160: 100km	Level 1 FS / -

Hardware

Balisen	2728
LEU	528
EuroLoop	9

Bahnhöfe

M230A: 2	Level 2 / Level 1 LS
M160A: 1	Level 1 FS / -

Software

Fahrstraßen	111
Linking	2328
Blockabschnitte	132
RBC	3



Gliederung

1. Grundlagen
2. Projektierung
- 3. Migration**
4. Sicherung der Interoperabilität



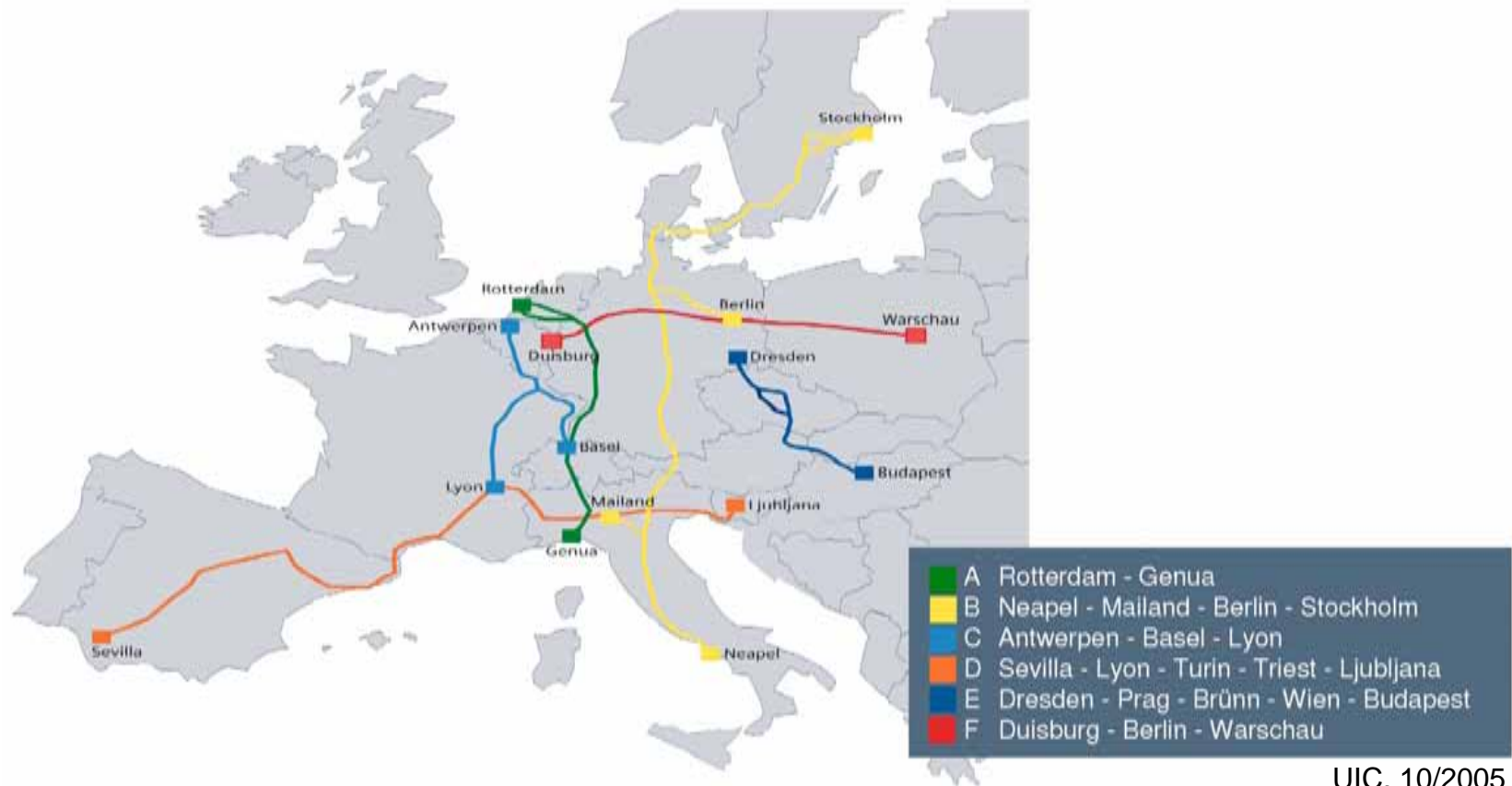


(Technologie-)Migration

Definition

- Erneuerung eines Systems, ohne dass der Betrieb unterbrochen wird
- System zeichnet sich aus durch
 - Verteilte Funktionsallokation
 - Netzwerkexternalitäten
- „Harte Migration“: Das Umschalten auf das neue System ist über Nacht möglich
- „Weiche Migration“: Das Umschalten auf das neue System ist nicht über Nacht möglich, der Betrieb muss stückweise umgestellt werden

ERTMS/ETCS-Korridore in Europa



UIC, 10/2005



Nationale ETCS Strategien

Zwei Beispiele

Schweiz

- Ablösung des Altsystems ZUB/SIGNUM wegen Abgängigkeit
- Für Netzzugang wird nur noch ETCS benötigt
- Netzweite Ausrüstung mit Level 1 Limited Supervision
- Level 2 derzeit nur auf der Strecke Mattstetten-Rothrist und der Lötschbergbasislinie
- Fahrzeugseitig wird durch ein Anpassmodul (Reverse STM) ETCS für die vorhandenen Fahrzeugrechner lesbar

Spanien

- Aufbau eines Hochleistungsnetzes mit ETCS
- Aufgrund anderer gesetzlicher Rahmenbedingungen als in Deutschland kann Level 1 bis zu 300km/h verwendet werden, nicht nur bis 160 km/h
- Bei Geschwindigkeiten bis 350km/h kommt Level 2 zum Einsatz
- Aktuell eine Strecke mit Level 1 in Betrieb: Sevilla – Cordoba - Madrid

ETCS Strategie in Deutschland

Aktueller Stand

- ETCS Migration auf TEN-T Korridoren
- Ausrüstung von Neu- und Ausbaustrecken
- Ablösung der LZB bis 2026 wegen Abgängigkeit
- Lückenschlüsse zwischen TEN-T Korridoren und zu ETCS migrierten LZB Strecken für ein zusammenhängendes ETCS Netz
- Berücksichtigung von Verkehrsprognosen und Bundesverkehrswegeplan
- Finanzierung in Deutschland aktuell problematisch
 - Keine Mittel aus Konjunkturpaket

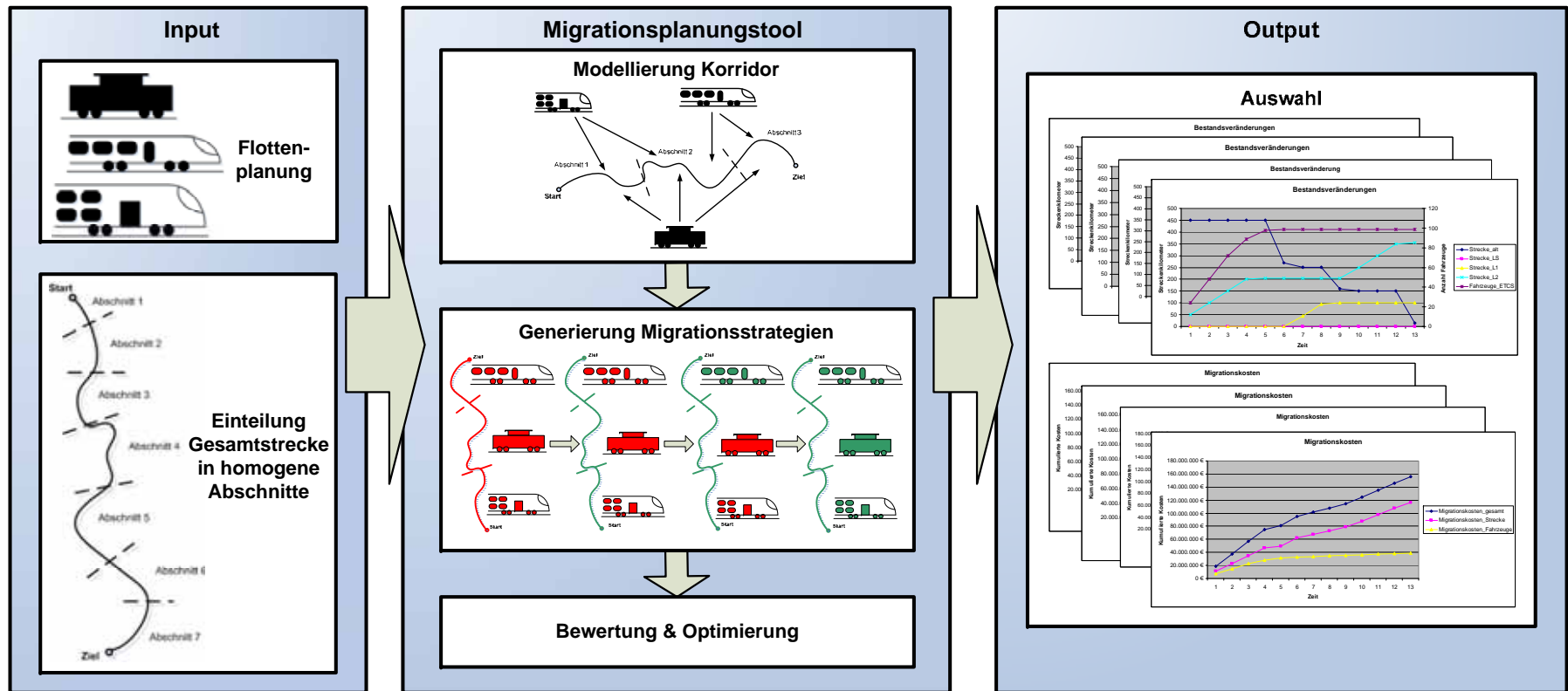


Quelle: Boehmer; Schweinsberger, ETR 10/2008



Planung von Migrationsvorhaben

Übersicht Railonomics®-Migration



Modellierung von Korridoren

Einteilung Strecken und Fahrzeuge

SGV:

- 120 Fahrzeuge
- Umrüstung: 40 Fzge. pa
- Nur nationale Zugbeeinflussung



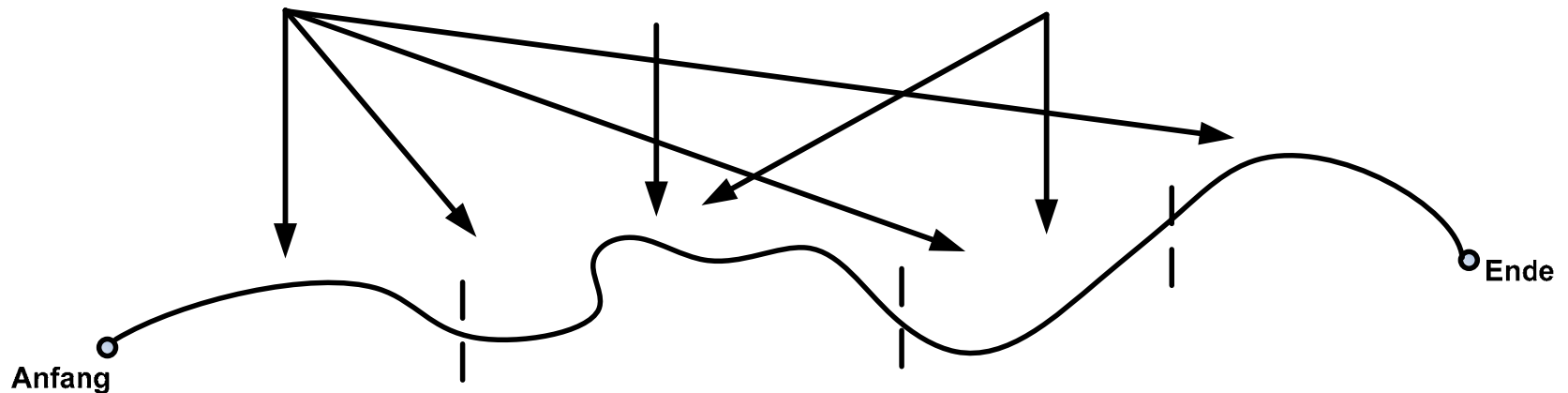
SPNV:

- 60 Fahrzeuge
- Umrüstung: 30 Fzge. pa
- Nur nationale Zugbeeinflussung



HGV:

- 60 Fahrzeuge
- Umrüstung: 20 Fzge. pa
- Nur nationale Zugbeeinflussung



Abschnitt 0

- Land: NL
- Länge: 50km
- Umrüstkap.: 50km p.a.

Abschnitt 1

- Land: D
- Länge: 33km
- Umrüstkap.: 33km p.a.

Abschnitt 2

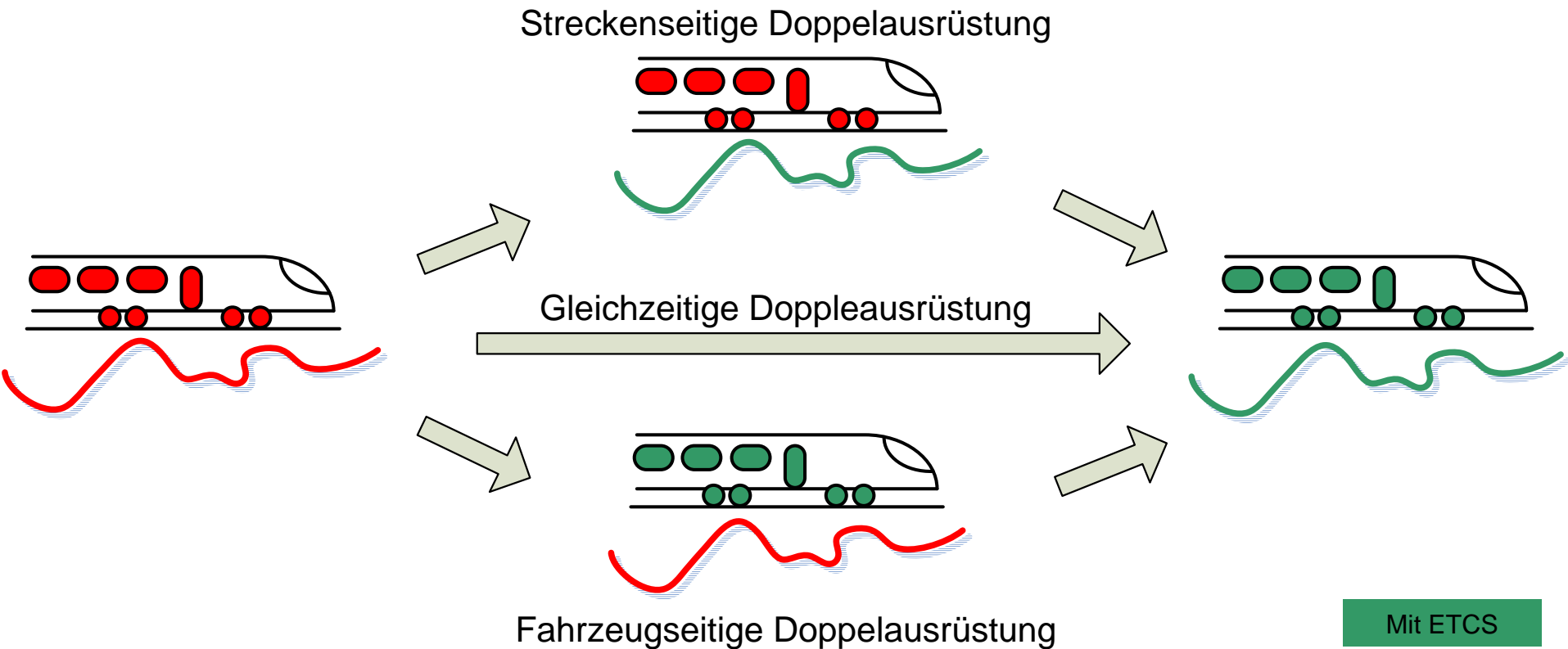
- Land: D
- Länge: 52km
- Umrüstkap.: 52km p.a.

Abschnitt 3

- Land: CH
- Länge: 50km
- Umrüstkap.: 50km p.a.

Modellierung von Korridoren

Integrierte Betrachtung von Fahrzeugen und Strecke



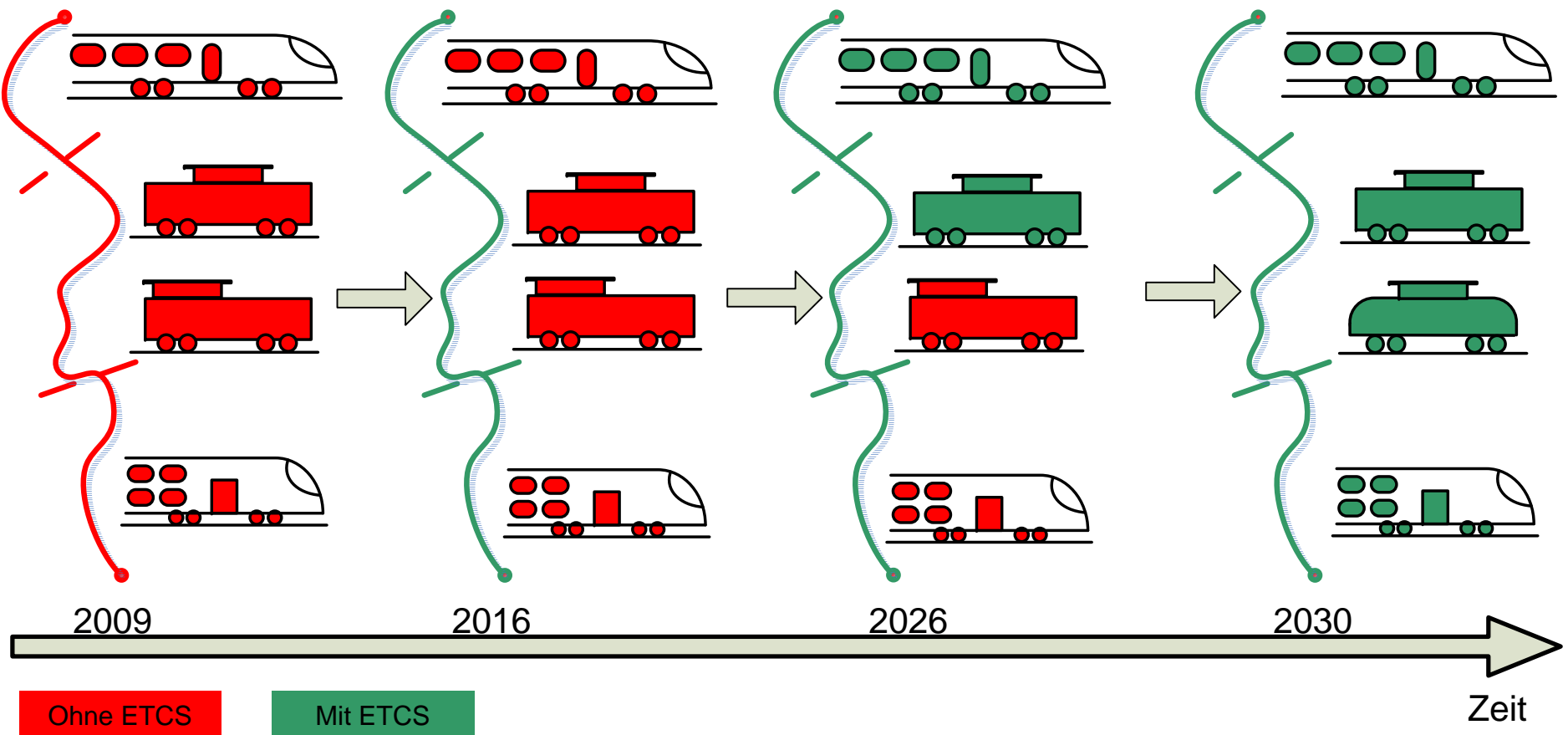
Mit ETCS

Ohne ETCS



Modellierung von Korridoren

Generierung von Migrationsstrategien



Modellierung von Korridoren

Umfang von Migrationsstrategien

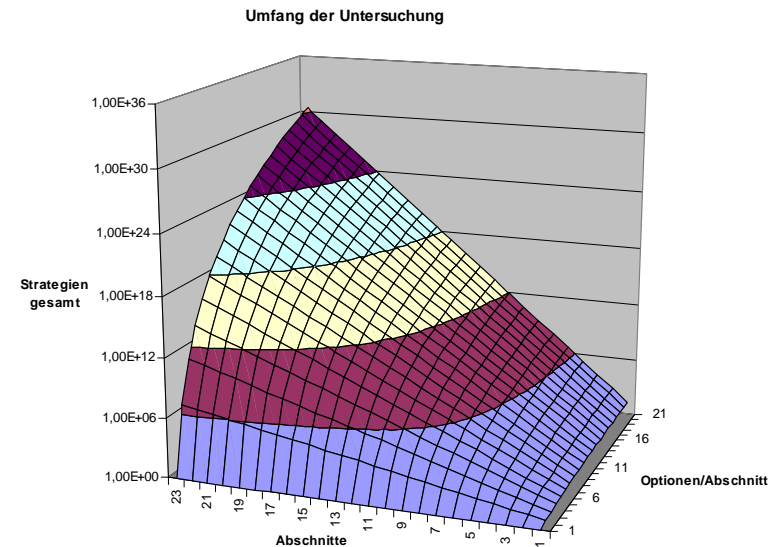
Für jeden Abschnitt stellt sich die Frage

- nach dem Migrationspfad
 - streckenseitige,
 - fahrzeugseitige oder
 - gleichzeitige Doppelausrüstung
- nach dem Migrationsziel, bspw.
 - Level 1 Limited Supervision / PZB
 - Level 1 Full Supervision / PZB
 - Level 2 / PZB
 - Level 2

→ Die sich ergebende Zahl an möglichen Strategien explodiert

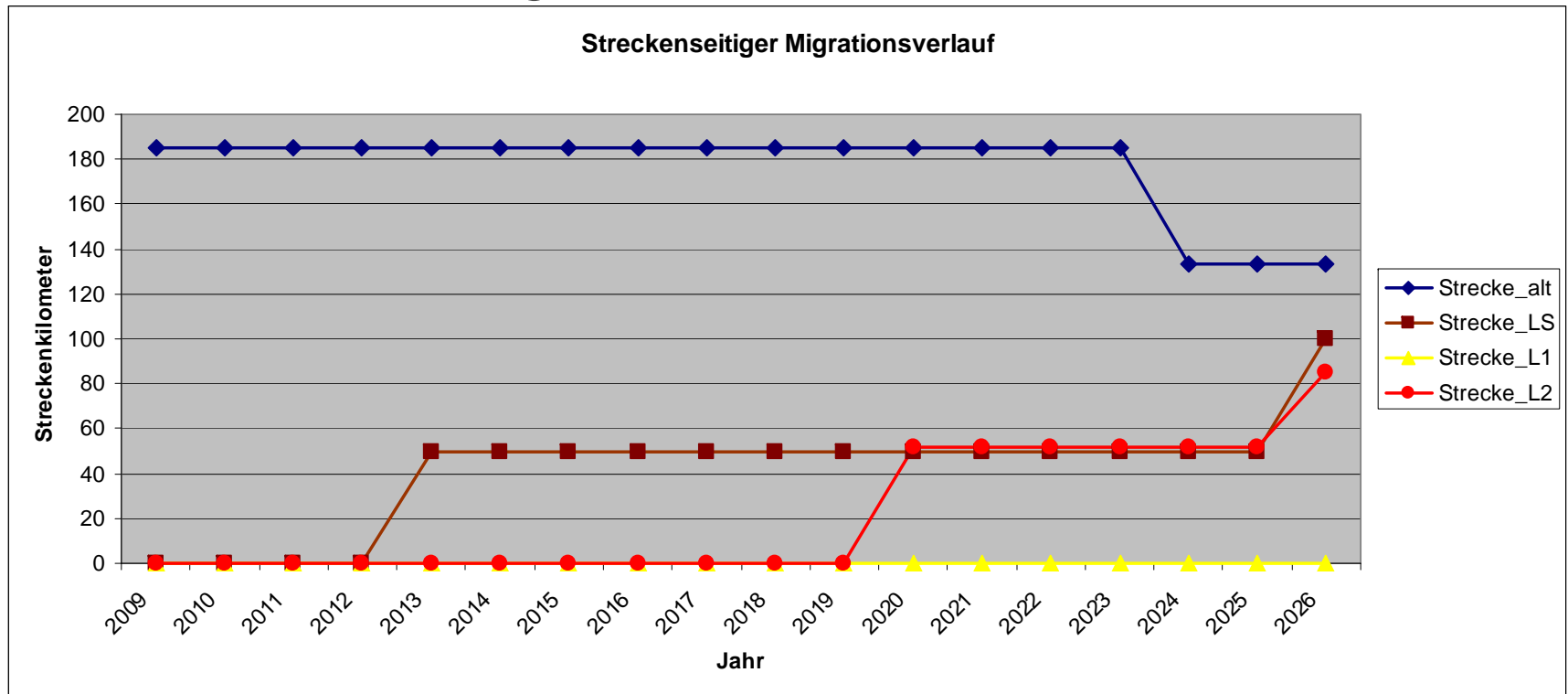
→ Reduktion des Umfangs durch Randbedingungen, bspw.

- Festlegung eines/ weniger Migrationsziele
- Pragmatische Zusammenfassung von Streckenabschnitten



Bewertung der Migrationsstrategien

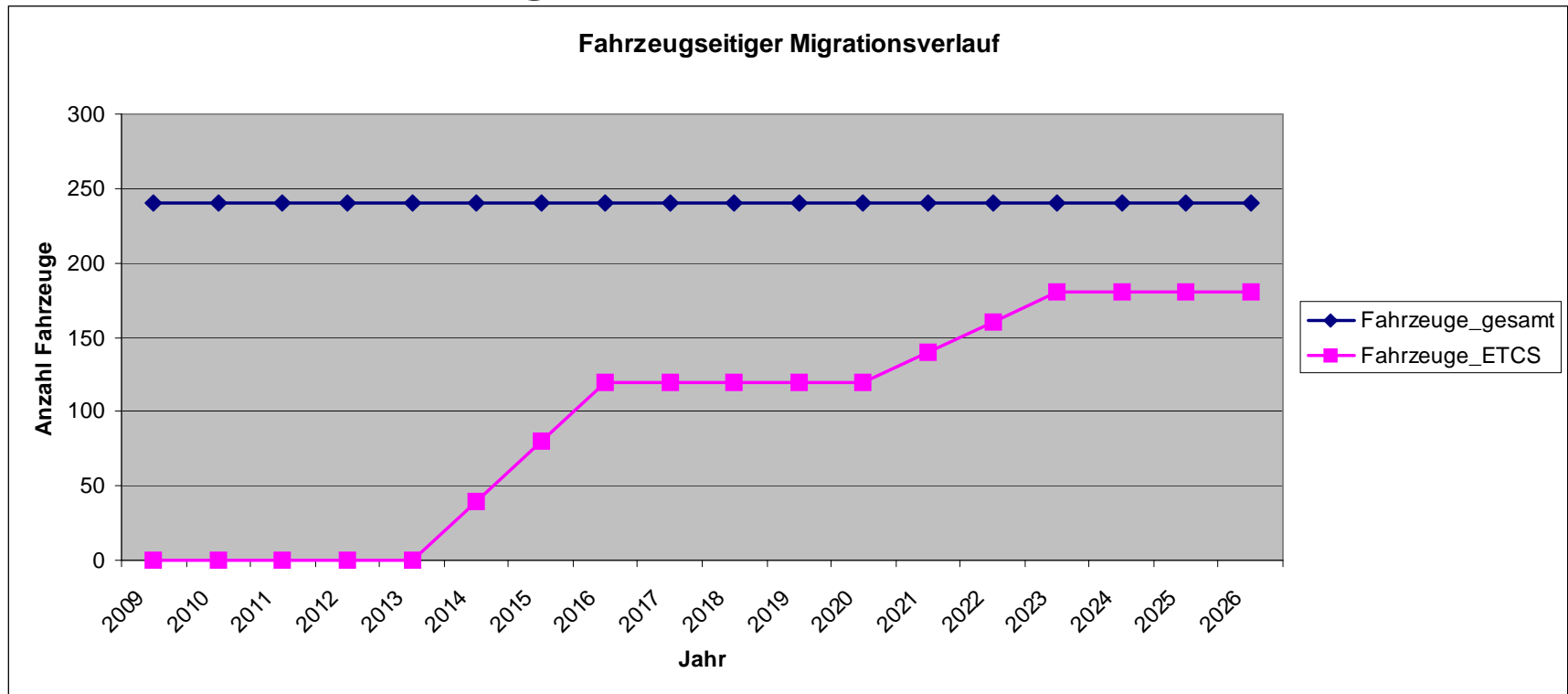
Bestandsänderungen



- Darstellung des Gesamtverlaufs
- Detaillierte Aufschlüsselung
 - Umrüstzeitpunkte für jeden Abschnitt und Verkehr

Bewertung der Migrationsstrategien

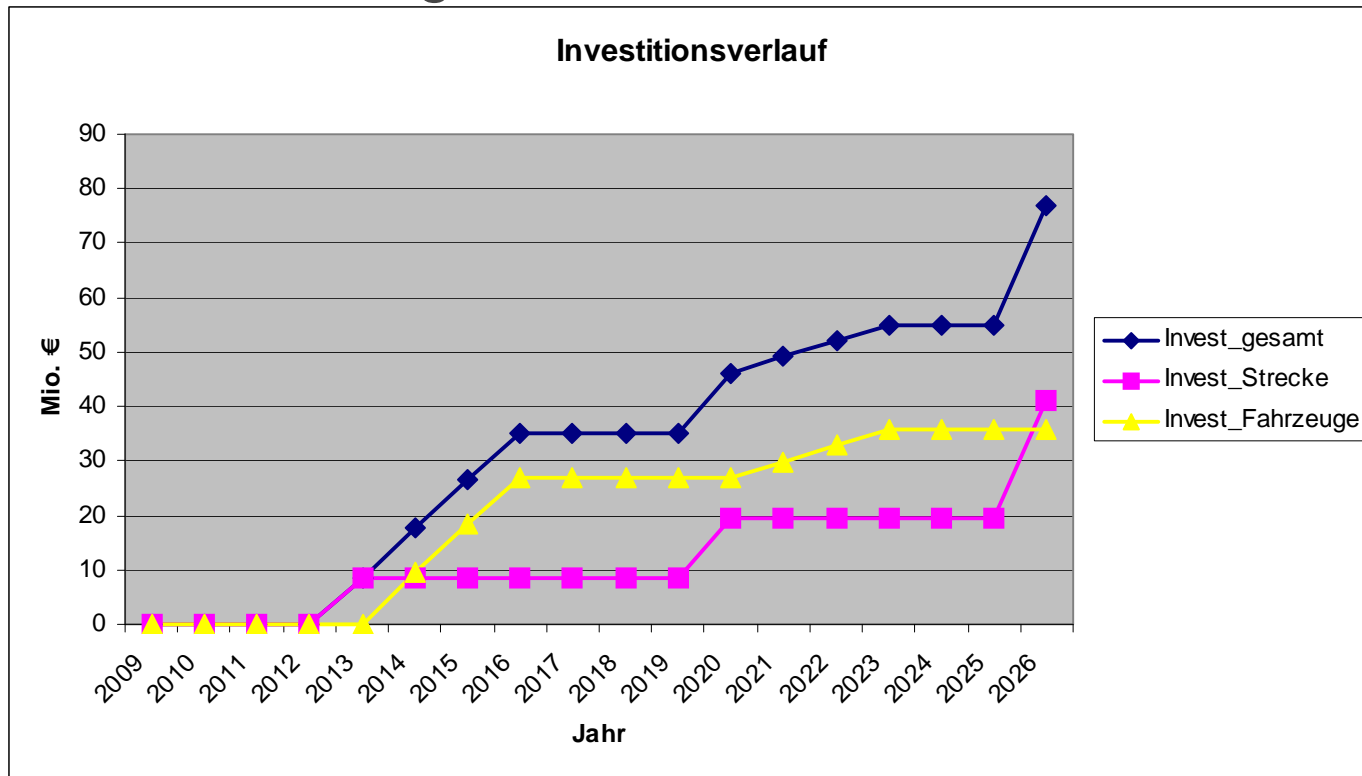
Bestandsänderungen



- Darstellung des Gesamtverlaufs
- Detaillierte Aufschlüsselung
 - Umrüstzeitpunkte für jeden Abschnitt und Verkehr

Bewertung der Migrationsstrategien

Kostendarstellung



- Ausgabe von Investitionsverlaug, Migrationskosten und Lebenszykluskosten
- Detaillierte Aufschlüsselung, bspw. nach SGV, HGV und SPNV

... alles wunderbar?

Interoperabilität bei aktuellen Projekten

- Erfahrungen der SBB bei den Projekten Mattstetten-Rothrist und Lötschbergbasislinie:

„Aufgrund der Spezifikationen (UNISIG SRS 2.2.2 einschließlich Subset 108) kann bei deren momentanem Reifegrad zwar ein interoperables System gebaut werden, aber die Interoperabilität des Systems erfolgt nicht zwingend aus der alleinigen Erfüllung der Spezifikationen.“ [Bolli; Rothbauer, Signal + Draht (101) 3/2009]

- Interoperabilität ist abhängig von
 - verwendeten Systemkomponenten und deren Kombinationen
 - betrieblichen Szenarien auf der jeweiligen Strecke
- Noch kein impliziter Interoperabilitätsnachweis möglich
 - In der jetzigen Phase wichtiger Einfluss auf Zulassungsaufwand

→ Was tun?

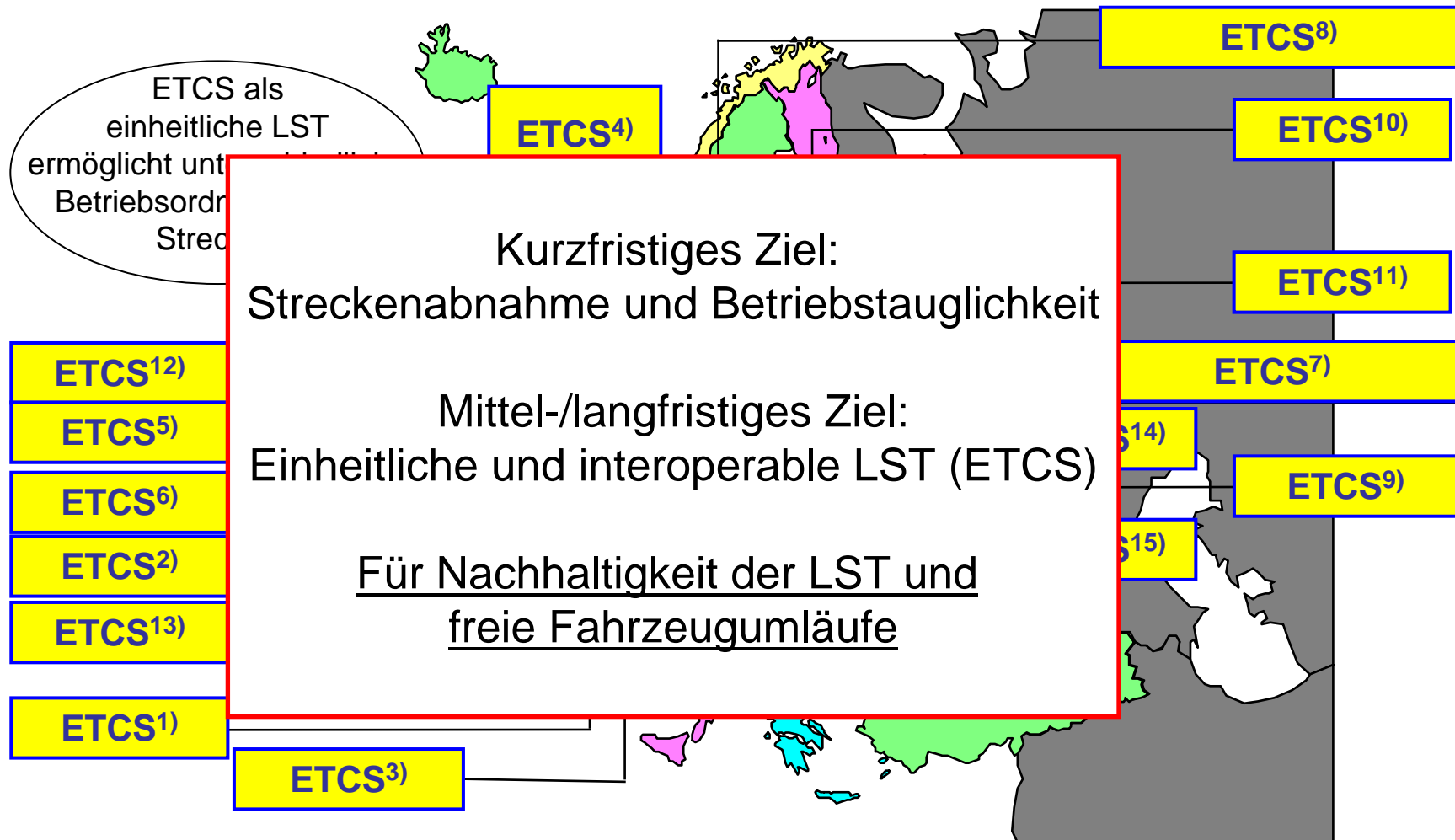


Gliederung

1. Grundlagen
2. Projektierung
3. Migration
- 4. Sicherung der Interoperabilität**



Gefährdung der Einheitlichkeit und Interoperabilität von ETCS



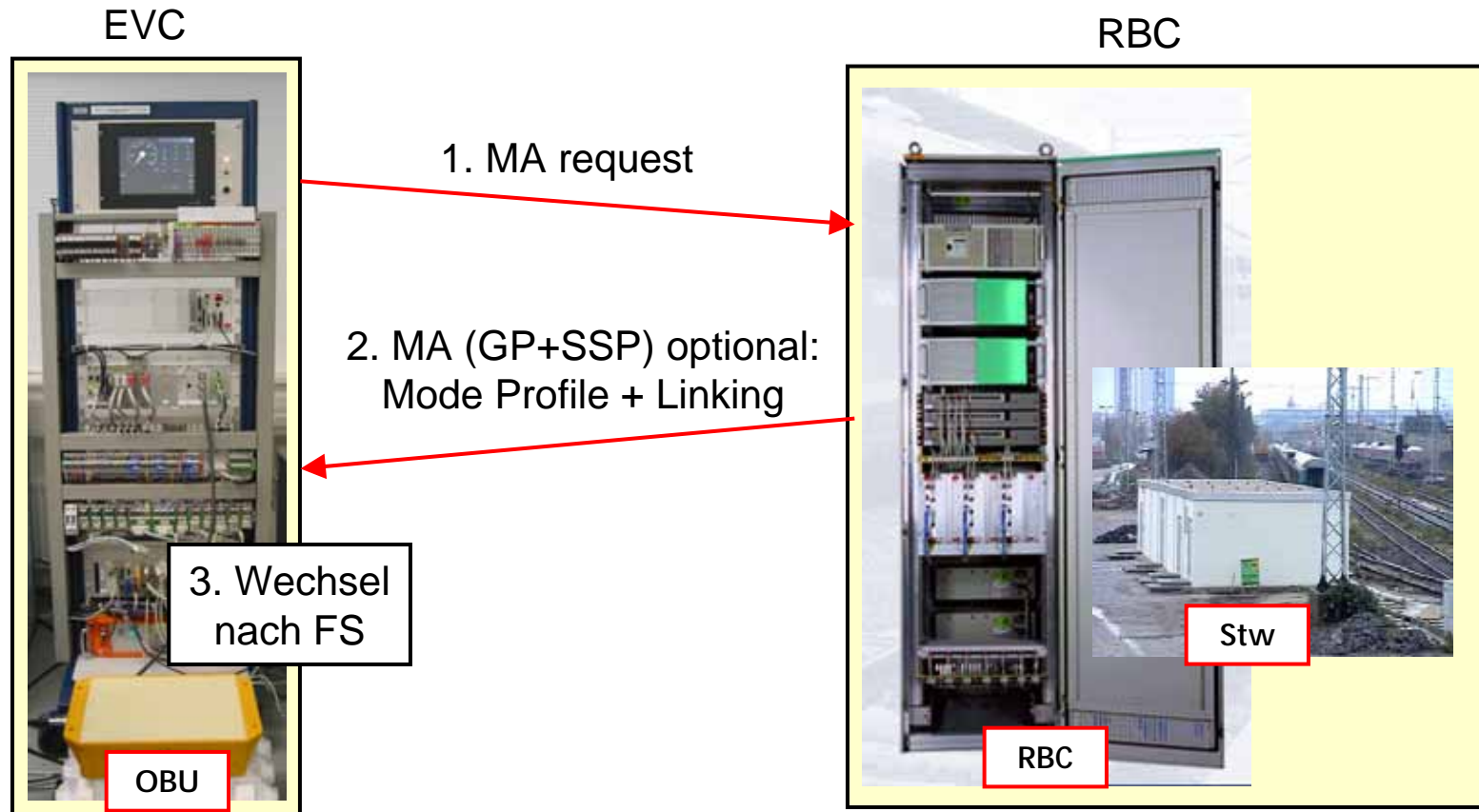
Interoperabilität

Was heißt das?

- Technische Interoperabilität = funktional einheitliche Umsetzung
 - Betriebsarten (Stand By, Staff Responsible, Full Supervision, On Sight, Shunting, Trip, Post Trip,...)
 - Betriebsstufen (Level 1, Level 2, Level 3)
 - Reibungsloses Zusammenspiel zwischen streckenseitiger und fahrzeugseitiger LST
 - Unabhängigkeit vom Betriebsverfahren und der Betriebsordnung
- Betriebliche Interoperabilität
 - Reibungsloser Übergang zwischen Betriebsgrenzen mit unterschiedlichen Betriebsordnungen
 - Z.B. Movement Authority mit Durchrutschweg oder ohne

Technische Interoperabilität

Herstellerunabhängige Interaktion zwischen strecken- und fahrzeugseitiger LST



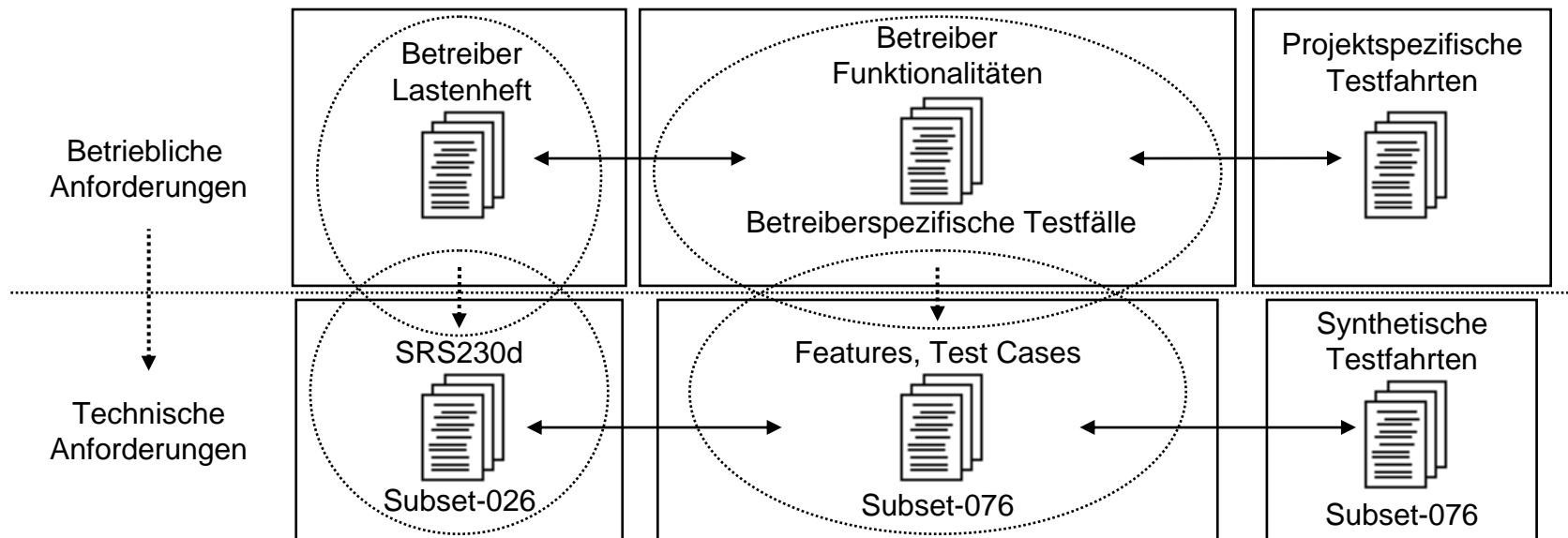
EVC: Electronic Vital Computer, MA: Movement Authority,
RBC: Radio Block Center, OBU: On Board Unit, FS: Full
Supervision, GP: Gradient Profile, SSP: Static Speed
Profile, Stw: Stellwerk

Gefährdung der Einheitlichkeit und Interoperabilität von ETCS

- Durch betriebliche und projektspezifische zu ETCS inkonsistente Anforderungen
- Streckenabnahme und Betriebstauglichkeit stehen häufig im Vordergrund, d.h. mit betrieblichen Test werden vorwiegend betriebliche Anforderungen nachgewiesen
- Konformität der fahrzeug- und streckenseitigen LST zur S.R.S muss explizit überprüft werden
- Sicherung der Konformität und Interoperabilität durch
 - Expliziten Nachweis der Konformität vor allem der Fahrzeugseitigen ETCS-Einheit
 - Einbeziehung der technischen Anforderungen und Tests in betriebliche Anforderungen und Test

Zusammenhang zwischen betrieblichen und technischen Testfällen

➤ Betriebliche Anforderungen beziehen sich auf die technischen.



Technische vs. betriebliche Funktionen

➤ Technische Funktionen

(Subset-026 u. Subset-076):

- Start / End of Mission
- Level- u. Mode-Transitions
- Check linking, Balise Group, Radio Message,.. consistency
- Determine train speed and location
- Management of MAs
- Supervise Train Movements
- Management of Communication Session
- Override, On-Sight, Shunting, Reversing, ..

➤ Betriebliche Funktionen

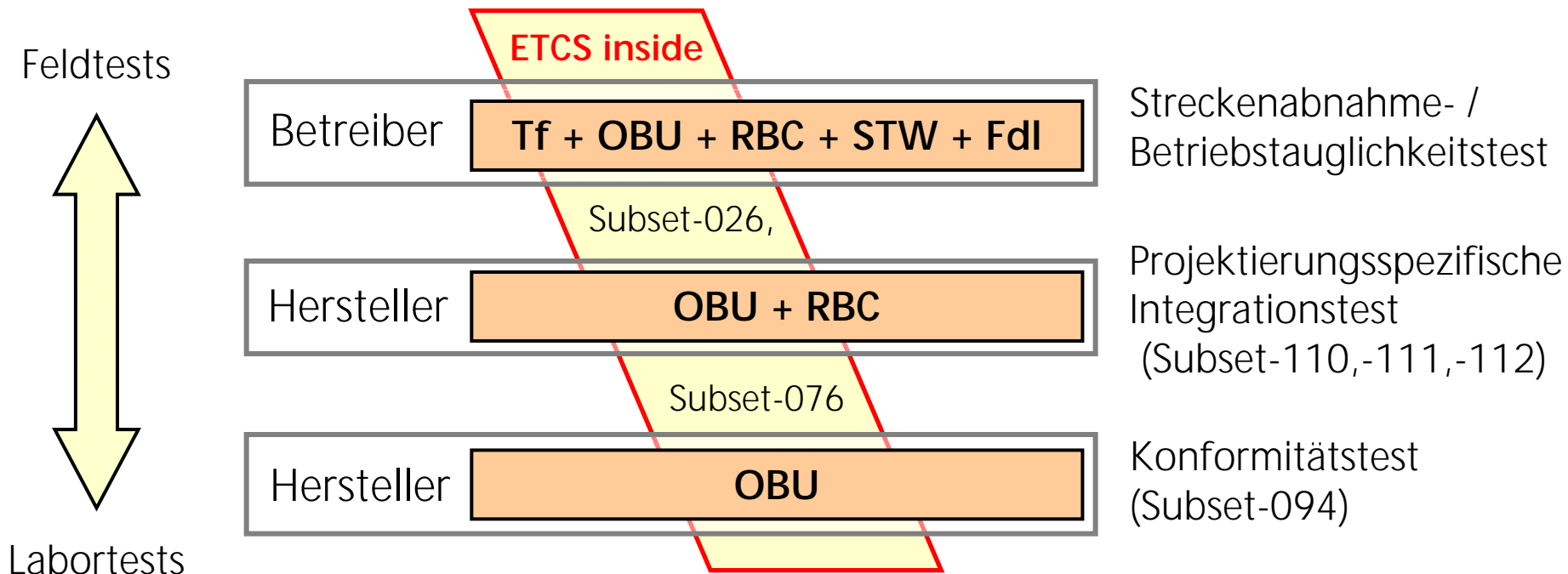
(Betreiberlastenheft):

- Aufrüsten, Abstellen
- Einfahrt in den ETCS-Bereich
- Ausfahrt aus dem ETCS-Bereich
- Verlängerung einer Fahrterlaubnis
- Übergabe zwischen ETCS Funkblockzentralen
- Langsamfahrstellen und Fahren auf Sicht
- Rangierfahrten
- Zwangsbremssungen
- ..



Konformitäts- und Interoperabilitätstests vs. Streckenabnahme und Betriebstauglichkeit

- Durchgängige Einbeziehung der technischen Anforderungen und Tests zur nachhaltigen Sicherung der Einheitlichkeit und Interoperabilität von ETCS



RBC: Radio Block Center, OBU: On Board Unit, Stw: Stellwerk, Tf: Triebfahrzeugführer, Fdl: Fahrdienstleiter



Optimierung und Sicherung der Interoperabilität bei Streckenabnahme- und Betriebstauglichkeitstests

- 1. Phase - keine reale Streckekomponente und keine reale Zugkomponente:
 - Projektierung (PT2) im RailSiTe + simuliertes EVC („ETCS inside“¹⁾)
Nutzen: erste funktionale Test zur Überprüfung der technischen Ausrüstung im Labor
 - Projektierung (PT2) im RailSiTe + Visualisierung der Strecke
Nutzen: Überprüfung der techn. Ausrüstung sowie des Streckenbildes im Labor
- 2. Phase - keine reale Streckekomponente aber reale Zugkomponente
 - Projektierung im RailSiTe + reale OBU („ETCS inside“¹⁾)
Nutzen: betriebliche Anforderungen des Betreibers und Validierung des Zusammenspiels von Hersteller Komponente und Streckenprojektierung im Labor
- 3. Phase - reale Streckekomponente und reale Zugkomponente
 - Projektierung im RailSiTe + reales RBC + reale OBU („ETCS inside“¹⁾) + simuliertes Stellwerk
Nutzen: Unterstützung der Streckenabnahme im Labor

1) Subset-076 Konformitätsnachweis





Fazit

Europa braucht ETCS

- ETCS stellt die große Möglichkeit dar, den europäischen Zugverkehr zu vereinheitlichen und wettbewerbsfähiger zu machen
- Die Einführung von ETCS steht vor Herausforderungen
 - Schärfe der Spezifikationen (SRS)
 - Sicherstellung tatsächlicher Interoperabilität
 - Ausgestaltung der Migrationsstrategien
- Die Herausforderungen sind jedoch lösbar durch
 - Intelligente Test- und Zulassungskonzepte
 - Koordiniertes und verlässliches Vorgehen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit





Weitere Informationen erhalten Sie bei:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Verkehrssystemtechnik

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Lackhove
E-Mail: *Christoph.Lackhove@dlr.de*

Dipl.-Inform. Lars Ebrecht
E-Mail: *Lars.Ebrecht@dlr.de*

